

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

METING VAN OVERSTORTHOOGTE EN VERSCHILDRUK

MET BEHULP VAN DRUKOPNEMERS

ing. F. Homma

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking

I N H O U D

	Blz.
1. INLEIDING	1
2. HET PRINCIPE VAN DRUKOPNEMERS	3
2.1. Algemeen	3
2.2. Inductieve drukopnemers	4
2.3. Voeding van inductieve drukopnemers	5
3. TOEPASSING VAN DRUKOPNEMERS	8
3.1. Duikers met flens	8
3.2. Stuwen met scherpe kruin	10
4. LABORATORIUM IJKINGEN	12
4.1. Lineariteit van de drukopnemer	12
4.2. IJking van debieten	14
4.3. IJkingen voor stuwmetingen	14
5. OPSTELLINGEN IN HET VELD	17
5.1. Opstelling bij duikers	17
5.2. Opstelling bij stuwen	18
6. IJKINGEN IN HET VELD	23
6.1. IJking bij duikers	23
6.2. IJking bij stuwen	23
7. BEKNOPT OMSCHRIJVING VAN DE GEBRUIKE APPARATUUR	26
8. SAMENVATTING EN CONCLUSIES	29
LITERATUUR	31

1. INLEIDING

Voor een optimale gewasproductie is een goede vochthuishouding van de grond een van de vereisten. Deze vochthuishouding moet aan twee criteria voldoen. In het voor en najaar moet de grond droog genoeg zijn voor een goede bewerkbaarheid, zelfs voor zwaardere machines. In het groeiseizoen moet de grond voldoende vocht bevatten om samen met de neerslag de voor groei en verdamping benodigde hoeveelheid water te kunnen leveren. Een goed werkend drainage c.q. infiltratiesysteem met een juist beheer van het open waterpeil kan ertoe bijdragen om gelijktijdig aan beide voorwaarden te voldoen.

Voor de peilbeheersing is het nodig te weten hoeveel water moet worden aangevoerd om de neerslagtekorten door middel van capillaire opstijging of beregening te kunnen aanvullen. Anderzijds moet de hoeveelheid af te voeren neerslag bekend zijn.

In sommige gebieden zal van de aangevoerde hoeveelheid water en van de neerslag een deel door wegzijding naar de diepere grondlagen verdwijnen en buiten het beschouwde gebied worden afgevoerd. Omgekeerd zal door kwel water worden toegevoerd. Doordat deze twee grootheden vaak moeilijk nauwkeurig zijn te bepalen is het nodig de via leidingen aan- en afgevoerde hoeveelheden te meten, om daarmee uit de waterbalans de kwel en infiltratie te kunnen berekenen.

In de Drentse Veenkoloniën is een deel van het Waterschap 'De Veenmarken' uitgekozen als proefgebied om de resultaten van een waterbeheersingsplan te bestuderen. Tevens moet aan de hand van dit onderzoek een advies gegeven kunnen worden over de meest gewenste grondwaterstanden en bij welke open waterpeilen deze zijn te realiseren in de verschillende jaargetijden en voor de verschillende stuwvakken.

Het proefgebied omvat het grootste deel van het voormalige Water-

schap 'De Monden' en wordt globaal begrenst door de Hondsrug in het ZW, Groningen in het NO, terwijl in het NW de grens iets boven de Exloërmond en in het ZO iets beneden Valthermond loopt. Door het plaatsen van inlaatwerken langs de ZO grens kan uit het zuidelijk gebied van het waterschap water worden ingelaten. Bovendien kan beschikt worden over een deel van het kwelwater van de Hondsrug. Een twintigtal stuwen zijn zo over het gebied verdeeld dat bij voldoende aanvoer overal een grondwaterstand van globaal van 70 tot 120 cm beneden het maaiveld kan worden gehandhaafd.

In het gebied worden waterbalansen opgesteld voor het gehele gebied, voor zes proefpercelen en voor vier lysimeters. De aan- en afvoergegevens worden op zeer verschillende manieren gemeten. Voor de lysimeters wordt gebruik gemaakt van geijkte reservoirs. Bij de wijken tussen de proefpercelen wordt gebruik gemaakt van duikers met flenzen. De inlaatwerken zijn of worden zodanig uitgerust dat hier met een vast opgestelde Fisher en Porter de overstorthoogte kan worden geregistreerd. Van de drie stuwen langs de grens in het NW, die dienen voor de afvoer van het overtollige water, is één eveneens voorzien van Fisher en Porter registratieapparatuur om de bovenstroomse waterhoogte te meten. De twee overige zijn voorzien van drukopnemers voor directe meting van de overstorthoogten.

Daar de laatstgenoemde methode nog weinig wordt toegepast zal eerst nader op het principe van deze meting worden ingegaan. Na een beschrijving van de proeven in het laboratorium en de opstelling in het veld volgen nog enkele meetervaringen.

Resultaten van de veldmetingen kunnen in dit stadium nog niet worden vermeld wegens de te korte opstellingsduur in het veld.

2. HET PRINCIPE VAN DRUKOPNEMERS

2.1. A l g e m e e n

Drukopnemers, ook bekend onder de Engelse naam 'pressure transducers' zetten een aangeboden druk om in een elektrisch signaal. Deze omzetting kan op verschillen manieren tot stand worden gebracht, namelijk door verandering van weerstandswaarden, capaciteit, zelf-inductie of door middel van spanningsveranderingen in piëzo-elektrische materialen.

Bij de weerstandsdrukopnemers zijn op of in een membraan of op een buigstaaf weerstanden aangebracht, die bij uitrekken of samen-drukken van waarde veranderen. Het toegepaste principe is vaak afhankelijk van het meetbereik van de drukopnemer. Een constante stroom door deze weerstanden zal een spanning over deze weerstanden veroorzaken, die evenredig is met de aan de drukopnemer aangeboden druk.

De capacitieve drukopnemers kunnen bestaan uit twee vaste platen waartussen een diafragma tengevolge van de aangelegde druk heen en weer kan bewegen. De hierdoor ontstane capaciteitsverandering veroorzaakt een verstemming van een oscillatorkring, welke op zijn beurt een maat is voor de te meten druk.

Piëzo-elektrische materialen hebben de eigenschap onder druk een spanningsverandering over het materiaal te geven, die evenredig is met de aangelegde druk. Met gevoelige meetapparatuur is deze spanningsvariatie te meten.

Aan de inductieve drukopnemers wordt hierna uitvoeriger aandacht gegeven, omdat deze zijn toegepast bij het onderzoek in de 'Veenmarken'. Behalve de hier genoemde principes van drukopnemers zijn er nog verschillende andere mogelijkheden. In het handboek voor drukopnemers van Bell and Howell worden deze principes en hun toepassingsmogelijkheden en uitvoeringsvormen uitgebreider beschreven.

In het algemeen zijn drukopnemers met weerstanden nauwkeuriger dan die met spoelen. Het stroomverbruik is echter groter en zij zijn kwetsbaarder. Bij beschadiging zijn ze meestal niet te repareren. Bij drukopnemers met spoelen kan in geval van zware overbelasting

het membraan worden vervangen. Beschadiging van de spoelen is vrijwel uitgesloten daar deze geheel zijn ingegoten. Voor de meetopstelling in het veld is daarom gekozen voor dit type opnemers, mede door de robuustere bouw en het feit dat een meetnauwkeurigheid van een half procent voor de beoogde metingen voldoende werd geacht.

2.2. Inductieve drukopnemers

De inductieve drukopnemers (fig. 1) zijn opgebouwd uit twee identieke delen. In een blok metaal is een cirkelvormige kamer uitgespaard waarin één op een potkern gewikkelde spoel wordt gekit. De spoel is iets korter dan de kamer diep is. De twee zo gevormde delen worden op elkaar geklemd met een membraan ertussen waardoor twee zelfinducties met een luchtspleet worden gevormd. De ruimte tussen de twee spoelen vormt meteen de drukkamer van de opnemer. Door uitoefenen van een druk op het membraan zal dit iets doorbuigen waardoor de luchtspleet van de ene spoel kleiner wordt en van de andere groter. Daar de zelfinductie van een spoel omgekeerdevenredig is met de lengte van de luchtspleet treedt een waardeverandering op van de zelfinductie. Worden de spoelen op een wisselstroom aangesloten via C1 en C2 dan veroorzaakt deze een spanning over elke spoel:

$$e = i \omega L$$

waarin: e = wisselspanning over de spoel in V (Volt)

i = wisselstroom door de spoel in A (Ampere)

$\omega = 2 \pi f$

f = frequentie (Herz)

L = zelfinductie van de spoel in H (Henry)

Verandert de zelfinductie van de spoelen tengevolge van de doorbuiging van het membraan zodat de waarde van de ene spoel L_1 en van de andere L_2 wordt, dan zal een stroom door beide spoelen een verschilspanning veroorzaken gelijk:

$$e = i \omega (L_1 - L_2)$$

Om een grotere gevoeligheid en betere nauwkeurigheid te verkrij-

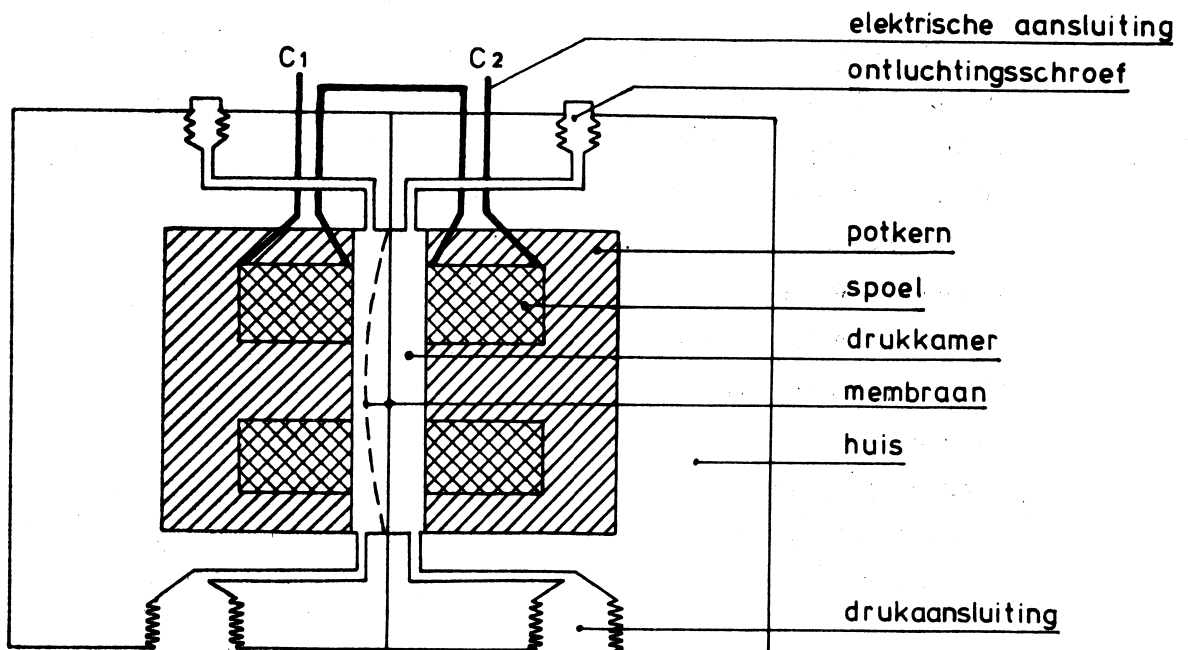


Fig. 1. Het principe van een inductieve drukopnemer

gen worden meestal, evenals bij de weerstanddrukopnemers, de spoelen opgenomen in een brugschakeling. Bij weerstandsdrukopnemers is vaak de complete brug met een regeling voor temperatuurcompensatie en nulpuntscorrectie in de opnemer zelf ondergebracht. Bij inductieve opnemers is wel een temperatuurscorrectie in de opnemer zelf aangebracht, maar de andere onderdelen zijn meestal in de bijbehorende voeding geplaatst.

Een ander voordeel van een brugschakeling is dat deze wordt gevoed door een constante spanningsbron in plaats van door een constante stroom.

2.3. Voeding van inductieve drukopnemers

De voeding van de inductieve drukopnemers wordt verzorgd door speciaal hiervoor ontwikkelde eenheden. Deze voedingen worden aangesloten op een ongestabiliseerde spanning, waarvan de grootte en vorm afhankelijk is van de uitvoeringsvorm van de voedingseenheid. Na een interne stabilisatie wordt deze spanning voor verschillende doelen gebruikt (fig. 2 (Power Supply)).

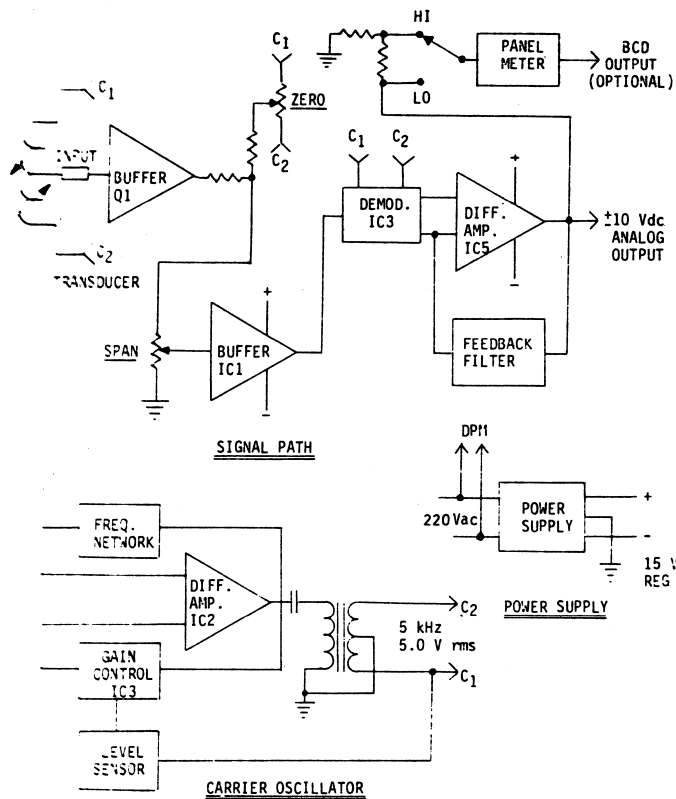
In een oscillator wordt de gewenste wisselspanning opgewekt, welke na een wisselspanningsstabilisator te zijn gepasseerd, dient voor de voeding van de brugschakeling. Bij de Action Pak 6051 is de grootte van deze wisselspanning bovendien nog instelbaar (fig. 3).

De gestabiliseerde gelijkspanning dient verder voor de voeding van de verschillende versterkers en de demodulator. In de Action Pak 6051 module zijn twee vaste weerstanden als onderdeel van de brugschakeling opgenomen. Via een stroomtransformator wordt de verschilstroom door de brug toegevoerd aan een fasecorrector en daarna gelijkgericht. Deze gelijkspanning komt op de ingang van een differentiaalversterker waarvan het nulpunt instelbaar is. De versterkingsfactor is instelbaar om op de uitgang een eenvoudige relatie te kunnen verkrijgen met het aangeboden drukverschil. Ten behoeve van de transmissie en de registratie-apparatuur is de uitgang instelbaar voor stroom of spanning.

Enkele belangrijke verschillen van de Validyne voedingseenheden ten opzichte van die van Action Pak zijn:

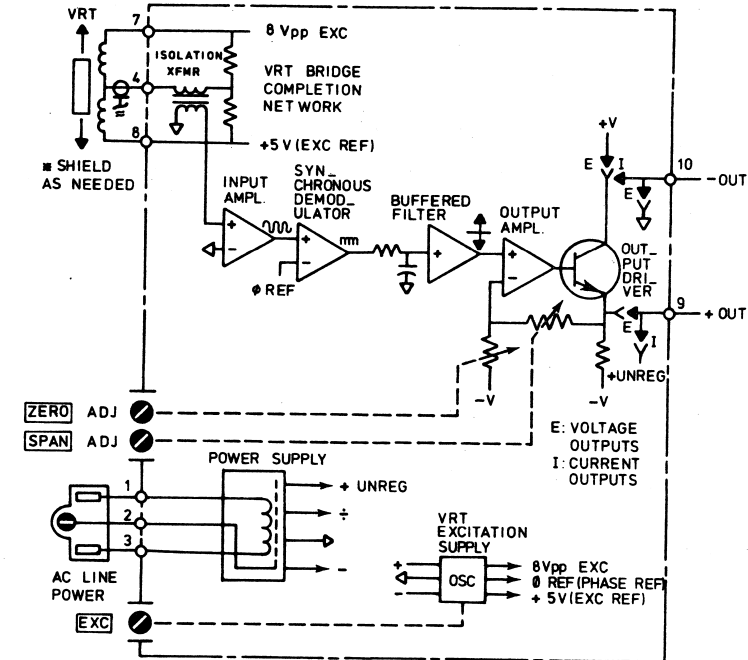
- De interne weerstanden van de brugschakeling worden hier gevormd door een neerslagpotentiometer, wat het voordeel heeft dat de brug zelf op nul kan worden afgeregeld.
- De verschilspanning over de brug wordt via een bufferversterker afgenomen en aan een tweede bufferversterker toegevoerd, waar tevens de versterkingsfactor wordt geregeld.
- De demodulator is in grote mate ongevoelig voor verliezen in de aansluitleidingen. Hierdoor is het mogelijk de voeding op een afstand tot ruim 300 meter van de opnemer te plaatsen.
- De typen CD15 en CD23 zijn bovendien voorzien van potentiometers met schaalverdeling, wat de controle van de ingestelde waarden vergemakkelijkt.

De 0-puntsinstellingen zijn noodzakelijk omdat bij de inductieve drukopnemers het membraan nooit zo kan worden ingeklemd, dat in onbelaste toestand de zelfinductie van de beide spoelen helemaal gelijk is.



Figuur 2 Het blokschema van de Validyne CD 23 met voeding, demodulator en versterker.

BLOCK DIAGRAM



Figuur 3 Het blokschema van de Action Pak 6051 met voeding, demodulator en versterker

3. TOEPASSING VAN DRUKOPNEMERS

3.1. D u i k e r s m e t f l e n s

Voor de aan- en afvoer van water naar de proefpercelen zijn de tussenliggende wijken via 30 cm duikers verbonden met een hoofdleiding. De peilen in de wijken en de hoofdleiding mogen slechts weinig van elkaar verschillen om de oorspronkelijke potentiaalverdeling van het water in het gebied niet teveel te verstoren. De toe te passen meetopstelling mag daarom maar weinig drukverlies geven en moet die kleine drukvariaties voldoende nauwkeurig registreren. Watermeters komen in dit geval niet in aanmerking vanwege hun te hoge weerstand en het feit dat bij kleinere hoeveelheden de meter niets registreert. Waarden voor de daarbij optredende drukverschillen kunnen in hun algemeenheid niet worden gegeven daar zij sterk afhankelijk zijn van het type meter en de capaciteit van de meter (WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM, 1979).

Om deze moeilijkheden te voorkomen bij de debietmetingen is gekozen voor een systeem waarbij de druk voor en achter een flens wordt gemeten. De opening van de flens kan dan worden aangepast aan de maximaal toelaatbare drukverschillen bij de optredende debieten.

Voor het bepalen van de flensopening is het nodig de maximaal af te voeren hoeveelheden water te kennen en tevens moet worden vastgesteld welke kleinste hoeveelheid nog moet kunnen worden gemeten. Het ontwerp voor de inlaatwerken en de toevoerkanalen in 'De Veenmarken' is gebaseerd op $0,3 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ wat overeenkomt met $2,6 \text{ mm.d}^{-1}$. De wijken tussen de proefpercelen moeten elk 14 ha van water voorzien, zodat de meetflensen $364 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ of $4,2 \text{ l.s}^{-1}$ moeten kunnen doorlaten. Voor de minimale waarde werd het wenselijk geacht een aanvoer overeenkomend met $0,1 \text{ mm.d}^{-1}$ of $0,16 \text{ l.s}^{-1}$ nog te kunnen meten.

Voor een meting met flensen is het debiet evenredig met de wortel uit het drukverschil; met de maximum en minimum te meten debieten volgt hieruit dat de hoogte moet kunnen worden gemeten in een verhouding 676:1. Een maximale druk van 14 cm werd toelaatbaar geacht, zodat een minimale waarde van 0,2 mm moet kunnen worden gemeten. Hoewel de drukopnemers een nauwkeurigheid hebben van een half

procent, blijkt dat bij een juiste instelling van het 0-punt voor de lage waarden een veel grotere nauwkeurigheid geldt, zodat aan de gestelde eis kon worden voldaan.

Voor debietmetingen in open waterlopen met behulp van een flens geldt (BOS e.a., 1976):

$$Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2g\Delta h} \quad \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (1)$$

waarin: A = oppervlakte flensopening in m^2

h = drukverschil voor en achter de flens in m

$C_d = 0,61$ voor flensopeningen van 3,5 tot 5 cm

$C_d = 0,60$ voor flensopeningen groter dan 6,5 cm

g = versnelling van de zwaartekracht in $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

Bij veldmetingen wordt Δh vaak gemeten in mm en Q in $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$

Wordt de diameter van de flensopening ook uitgedrukt in mm dan geldt voor de afvoer:

$$Q = (67,75 \text{ of } 66,64) \cdot 10^{-6} \cdot d^2 \sqrt{\Delta h} \quad \text{l} \cdot \text{s}^{-1} \quad (2)$$

Uit een handleiding voor het berekenen van doorstromende hoeveelheden door flensen van FOXBORO volgt:

$$Q = (66,95 \text{ of } 66,03) \cdot 10^{-6} \cdot d^2 \sqrt{\Delta h} \quad \text{l} \cdot \text{s}^{-1} \quad (3)$$

Voor het maximaal toegestane drukverschil van 140 mm en bij een maximale doorvoer van $4,2 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ volgt hieruit een gewenste diameter van 73 mm voor de flensopening. Omdat de hoogste debieten slechts sporadisch voorkomen en om de lagere debieten met een grotere nauwkeurigheid te meten is gekozen voor een flensopening van 50 mm . Als h in mm wordt ingevuld geldt voor deze opening voor de doorvoer als gemiddelde waarde van (2) en (3):

$$Q = 0,1683 \cdot \sqrt{\Delta h} \quad \text{l} \cdot \text{s}^{-1} \quad (4)$$

Voor de hogere debieten is het mogelijk een extra duiker in te schakelen, zodat een deel van het water buiten de flens om aan- of afgevoerd kan worden. Bij de maximale afvoer van ca. $2 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ bij 140 mm druk over de flens is het drukverlies in de duiker van 300 mm slechts $37 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (KIWA). Over de totale lengte van de duiker van 10 m

wordt dit een drukverlies van 0,37 mm. Het drukverschil over de duikers kan daarom gelijk gesteld worden aan het over de flens gemeten verschil. Hierdoor blijft het mogelijk om bij inschakelen van de extra duiker toch het totale debiet te meten.

Een andere mogelijkheid om een groter meetbereik te realiseren, kan worden verkregen door bijvoorbeeld een flens met een opening van 100 mm in de duiker in te bouwen, welke opening door een schuif verkleind kan worden tot 50 mm.

3.2. Stuwen met scherpe kruin

Voor het berekenen van afvoeren over stuwen met een scherpe kruin kan gebruik worden gemaakt van de formule BOS, e.a. (1976):

$$Q = C_e \cdot 2/3 \cdot \sqrt{2g} \cdot b \cdot \sqrt{\Delta h^3} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) \quad (5)$$

met: Q = afvoer in $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

C_e = factor afhankelijk van de vorm van de stuw

g = versnelling van de zwaartekracht in $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

b = breedte van de klep in m

h = overstorthoogte in m

Bij een niet rechtopstaande stuw moet nog een factor worden ingevoerd, die afhankelijk is van de stand van de klep.

Voor stuwen met een rechte toestroming kan bij benadering $C_e = 0,65$ worden gesteld. De afvoer is dan:

$$Q = 1,94 \cdot b \cdot \sqrt{\Delta h^3} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) \quad (6)$$

In het gebied van 'De Monden' moeten de drie stuwen voor de afvoer elk ongeveer een gebied van 3000 ha afwateren. Volgens het Cultuurtechnisch Vademecum moet voor een dergelijk gebied de maatgevende afvoer worden gesteld op $0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot (100 \text{ ha})^{-1}$, hetgeen overeenkomt met $3 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$ voor elke stuw.

Bij een gemiddelde afvoer van 400 mm per jaar bedraagt de per stuw af te voeren hoeveelheid $12 \times 10^6 \text{ m}^3$ per jaar of $0,38 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Bij een gemiddelde stuwbreedte van 4,5 m komen deze afvoeren overeen met een overstorthoogte van respectievelijk 490 en 124 mm. Mede ge-

let op de overstorthoogten die in het verleden zijn gemeten is voor een drukopnemer gekozen met een maximaal bereik van 360 mm, zodat ook lage afvoeren met een redelijke nauwkeurigheid kunnen worden geregistreerd.

4. LABORATORIUM IJKINGEN

Voordat de meetapparatuur in het veld werd opgesteld zijn in het laboratorium uitgebreide testen uitgevoerd. Hoewel goede resultaten van een laboratoriumtest nog niet garanderen dat de apparatuur dan ook in het veld goed werkt is het toch noodzakelijk zoveel mogelijk aanloopmoeilijkheden op te lossen voordat de meetopstelling in het veld wordt geplaatst. De omstandigheden in het veld zijn veelal ongunstiger dan in een laboratorium. De vaak hoge relatieve luchtvochtigheid, de sterke temperatuurswisselingen, lekkages en niet in de laatste plaats een beperkter toezicht stellen hoge eisen aan de kwaliteit en betrouwbaarheid van de meetapparatuur.

4.1. Lineariteit van de drukopnemer

De combinatie van drukopnemer met de Aktion Pak 6051 voeding en de door de TFDL geleverde versterker ter compensatie van de kabelverliezen werden als een geheel getest. Doordat de Aktion Pak in zijn oorspronkelijke vorm een stroom afgeeft van -10 tot +10 mA en de versterker van de TFDL alleen een positief signaal verwerkt was het niet mogelijk de meetopstelling af te regelen. De AP 6051 voedingen/versterkers zijn daarom door de importeur zo gewijzigd dat een stroom van 0 tot 20 mA werd afgegeven. Het 0-punt moest hiertoe worden verschoven naar 10 mA. De totale versterking van de combinatie bleek nu echter niet meer lineair te zijn over het gehele bereik, bij de hogere waarden trad soms zelfs een afwijking op van meer dan 10% (fig. 4). De afregeling van de versterkers was zeer kritisch door deze niet lineariteit.

Uit metingen met behulp van een sinusgenerator en een digitale multimeter werd de lineariteit van de drukopnemers voor zowel het positieve als het negatieve bereik nagegaan. Op zich werd een goede lineariteit gevonden, hoewel wel kleine verschillen werden gemeten tussen de afgegeven spanningen per cm drukverschil voor de verschillende richtingen. Met een gecombineerde voeding-demodulator-versterker van Validyne is in een later stadium nogmaals de lineariteit gemeten. Ook nu was de lineariteit voor de afzonderlijke richtingen

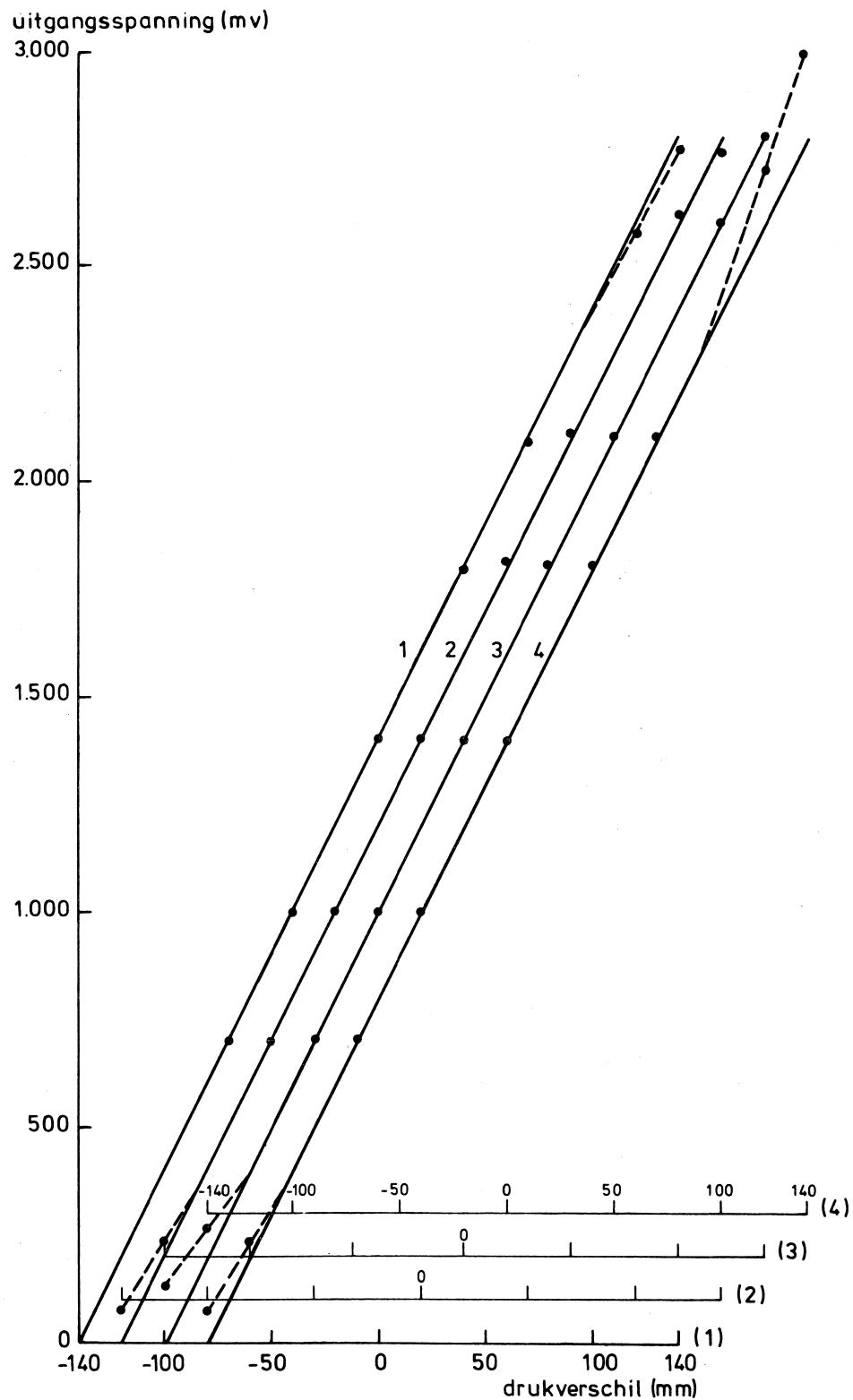


Fig. 4. De uitgangsspanning van drukopnemer DP 15 in combinatie met de voeding AP 6051 en versterker van TFDL. De horizontale schaal voor elke volgende drukopnemer is steeds 20 mm verschoven

goed, maar de afgegeven spanning per cm drukverschil voor de verschillende richtingen was niet geheel gelijk (fig. 5).

4.2. IJking van debieten

Na het vaststellen van de ijkcurve voor de hoogtemetingen zijn de drukopnemers gemonteerd over de flenzen. De vier te gebruiken flenzen zijn in serie geschakeld en in een goot gelegd zodat de buizen met flens geheel onder water lagen.

Bij deze meetopstelling kon bij vollopende buizen geen groter drukverschil worden toegepast dan 4 cm per flens. Door een revisie van de scanner konden bovendien de drukverschillen over de flens alleen met behulp van een watermanometer worden gemeten. Het verschil was hierdoor niet nauwkeuriger te meten dan tot 0,5 mm. De doorstromende hoeveelheid water werd van een geijkte watermeter afgelezen. Omdat de uitgevoerde metingen vooral bij de kleine drukverschillen geen grote nauwkeurigheid hadden zijn de meetresultaten (fig. 6) vergeleken met de voor een 50 mm geldende afvoerformule (gemiddelde van Bos e.a. en Foxboro):

$$Q = 0,167 \sqrt{\Delta h} \quad (1.s^{-1}) \quad (7)$$

4.3. IJkingen voor stuwmetingen

Nadat de drukopnemers voor de stuwen waren gecontroleerd op hun lineariteit zijn zij getest op hun gevoeligheid voor verschillen in scheefstand van de klep. De drukopnemer werd hiertoe zo in de klep gemonteerd dat het midden van de drukopnemer zo nauwkeurig mogelijk in de bovenrand van de klep lag. Een zijde van de opnemer werd belucht terwijl de andere zijde via een nylon slang met een stroomopwaarts geplaatste stilling well werd verbonden. De klep was gemonteerd in een klein stuwte in een meetgoot. Bij elke klepstand werd vervolgens met een peilnaald de hoogte van de waterspiegel gemeten. De gebruikte peilnaalden (fa. Koning Arnhem) kunnen worden afgelezen op 0,1 mm door middel van een nonius. Door een elektronische indicatie is de peilnaald ook binnen deze nauwkeurigheid in te stellen. Door steeds bij een overstort 0 te beginnen kon de overstorthoogte

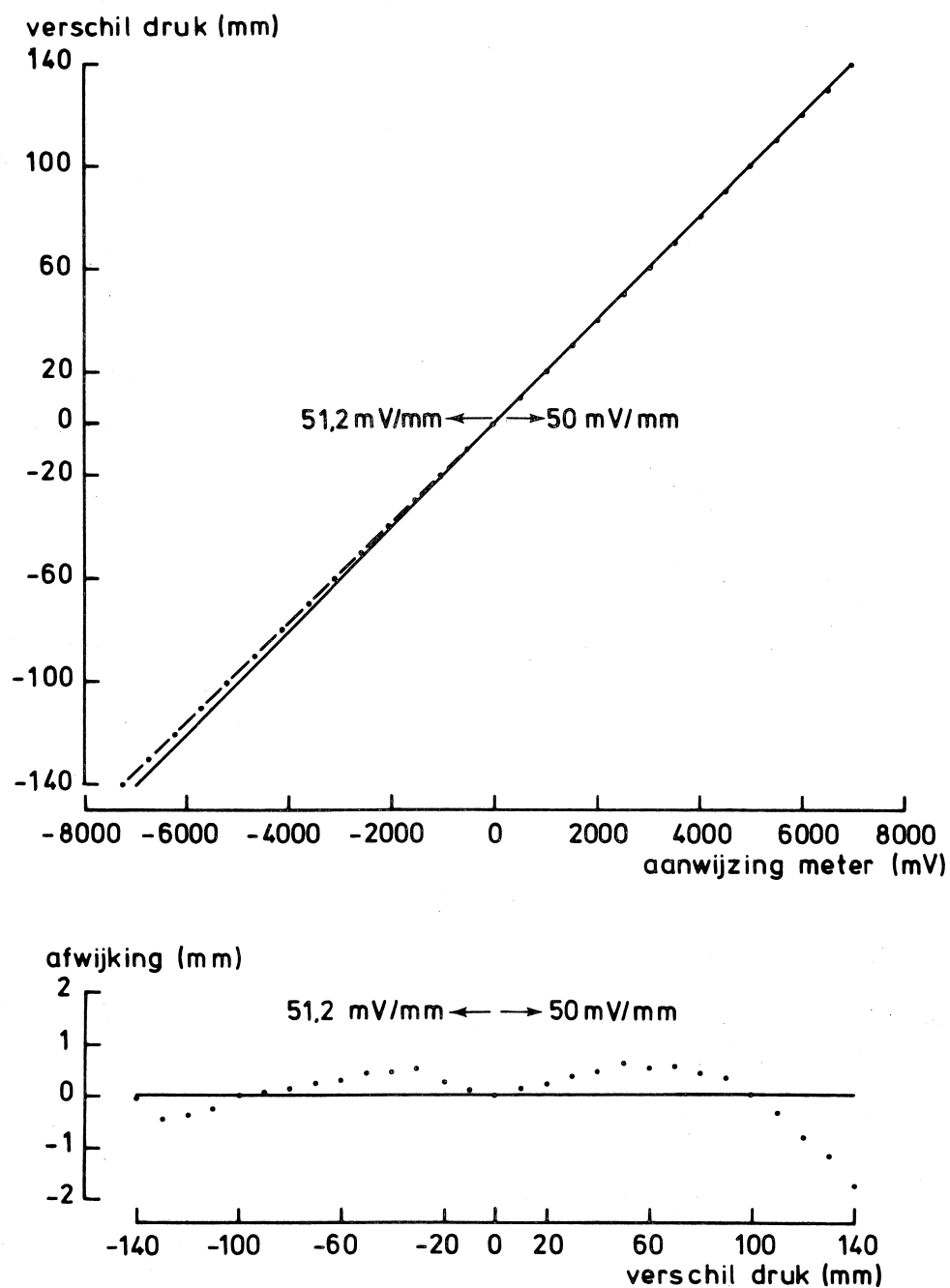


Fig. 5. De uitgangsspanning van een drukopnemer DP 15 in combinatie met de Validyne CD 23. In het onderste deel van de figuur is de afwijking ten opzichte van de rechte op grotere schaal weergegeven

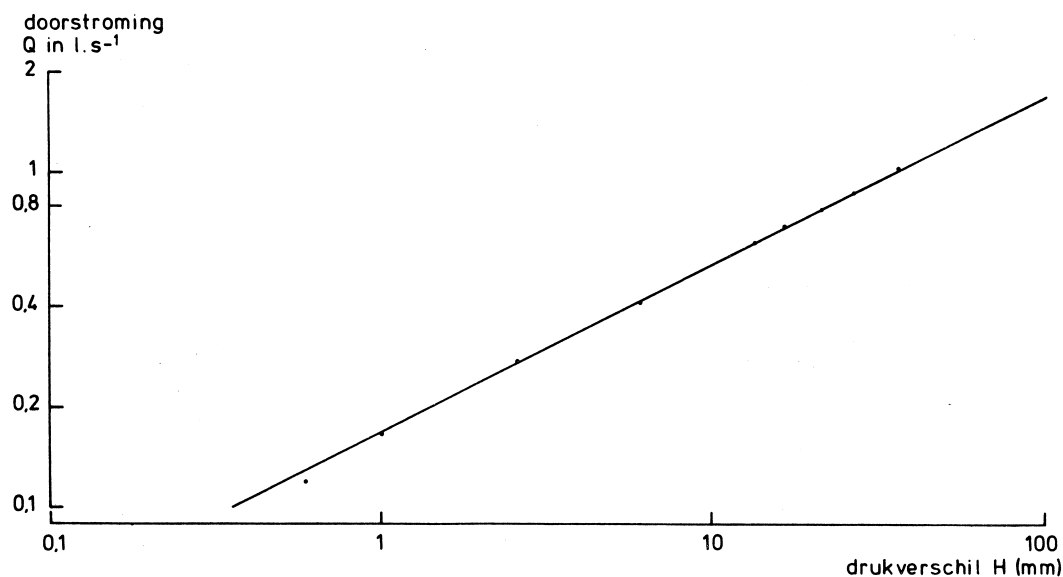


Fig. 6. De gemeten afvoeren voor een 5 cm flens

— vergelijking (7)

. . metingen

gemeten worden met een nauwkeurigheid van 0,1 mm.

De uitgang van de voeding/demodulator was aangesloten op een $5\frac{1}{2}$ digit digitale multimeter (type 7205 van Systron-Donner). De uitgangsspanning is bij 0 en 100 mm ingesteld op respectievelijk 0 en 10,000 V, zodat 0,1 mm overeenkwam met 10 digits. Door trillingen in het water was echter de laatste digit niet afleesbaar.

Bij verschillende klepstanden en overstorthoogten kwam de uitlezing van de eerste vier cijfers exact overeen met overstorthoogten afgelezen via de peilnaalden.

Een niet juiste montage zal bij wijziging van de klepstand een fout in de aanwijzing geven door een verschuiving van het ingestelde 0-punt.

5. OPSTELLINGEN IN HET VELD

5.1. Opstelling bij duikers

Een roestvrij stalen flens met een gat van 50 mm is gemonteerd in een 300 mm plastic buis. Aan weerszijden van deze flens is een slangaansluiting op de buis gemaakt. Via met olie gevulde slangen zijn deze verbonden met de ingangen van de drukopnemer. Daar een drukverandering nauwelijks een volumeverandering geeft in de drukopnemer en de gebruikte olie zich niet met water vermengt, kon deze methode van aansluiten worden toegepast. Hierdoor wordt namelijk de kans op de vorming van luchtbelllen in de aansluitingen aanmerkelijk verkleind. Bovendien is bij vorst de kans op beschadiging van de drukopnemer door het optreden van zeer hoge spanningen vrijwel verdwenen. Om temperatuurverschillen tussen drukopnemer en de beide aansluitingen zoveel mogelijk tegen te gaan is de drukopnemer met de verbindingsslangen onder water gemonteerd. Omdat de gebruikte drukopnemers niet van een waterdichte elektrische aansluiting zijn voorzien, zijn deze in een waterdichte kast geplaatst (fig. 7).

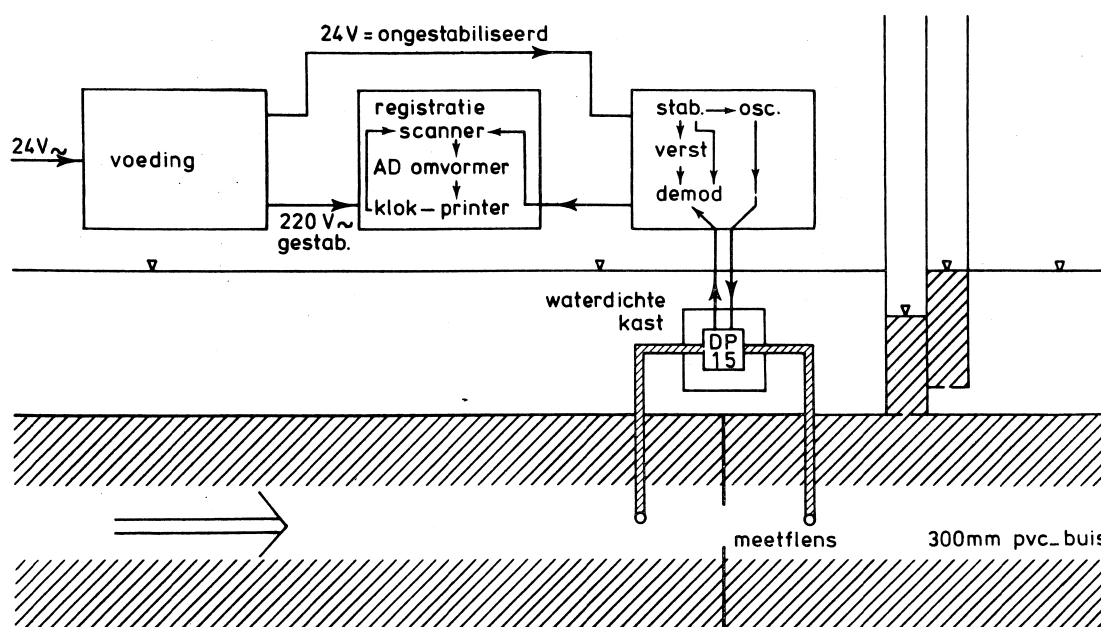


Fig. 7. Principe van een meetopstelling met een flens in een duiker

De Action Pak voeding voor de drukopnemer is eveneens in een waterdichte kast ondergebracht en op een paal in de slootwand geplaatst. Om de afgegeven constante stroom ook over de lange aansluitkabels te waarborgen is in deze kast tevens een extra stroomversterker aangebracht. Via een kabel ontvangen de voedingskasten een ongestabiliseerde spanning van 24 Volt en via dezelfde kabel gaat een stroom variërend van 0 tot 20 mA terug naar een scanner. In deze scanner wordt de stroom omgezet in een spanning variërend van 0 tot 1400 mV. Bij een drukverschil 0 is de aflezing 700 en elke mm drukverschil geeft een spanningsverandering van ongeveer 5 mV.

Begin 1980 worden de voedingen van Action Pak vervangen door Validyne CD16 voedingen. Deze voedingen zijn geschikt om een drukopnemer tot op een afstand van 300 m te voeden. Hierdoor is het mogelijk de voeding in de centrale registratiekast onder te brengen. Bovendien kan hiermee een uitgangsspanning worden geregistreerd van - 1400 tot + 1400 mV waardoor een eenvoudiger omrekeningsfactor wordt verkregen.

Vervanging van de voeding is noodzakelijk in verband met de vele storingen en het verlopen van de uitgangsspanning van de Action Pak 6051 voedingen.

5.2. O p s t e l l i n g b i j s t u w e n

Om de overstorthoogte bij stuwen te meten moet zowel de waterhoogte als de hoogte van de kruin van de stuw of klep worden gemeten, of de waterhoogte moet direct ten opzichte van de kruin worden gemeten. Bij de meting met behulp van drukopnemers is voor de laatste methode gekozen. De stuwen zijn hiertoe voorzien van een rechte scherpe kruin, zodat het hoogste punt niet verschuift ten opzichte van de klep. Het midden van de drukopnemer wordt op het hoogste punt van de stuw geplaatst. De negatieve zijde van de drukopnemer wordt via een slang belucht, zodat hier de atmosferische druk heerst. De positieve zijde wordt verbonden met een stilling well die de hoogte van het water bovenstrooms weergeeft (fig. 8).

Daar de beide stuwen waar deze meetopstellingen zijn toegepast automatisch werken en daartoe voorzien zijn van een 220 Volt aan-

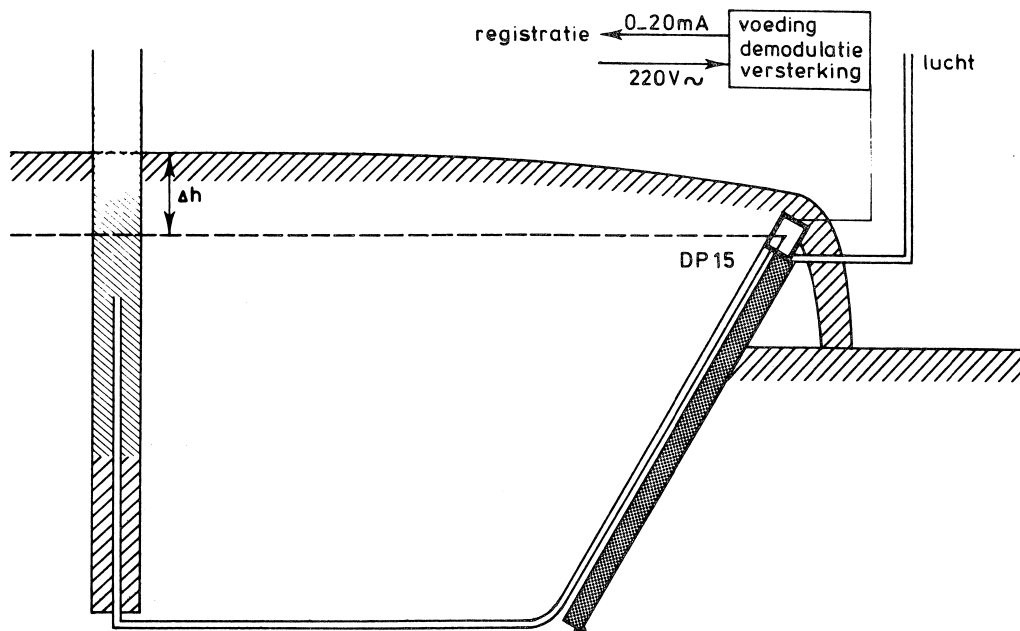


Fig. 8. Overstorthoogtemeting met een drukopnemer op de stuw en een gedeeltelijk met olie gevulde 'stilling well'

sluiting kon de voeding en registratie-apparatuur eenvoudig worden aangesloten en in de regelkast van de stuw worden ondergebracht. In beide gevallen is een directe aflezing van de overstorthoogte mogelijk en wordt op gekozen tijdsintervallen de gemeten waarde geprint.

Om de drukopnemer tegen beschadiging door vorst te beschermen is ook hier de aansluiting naar de stilling well weer met olie gevuld. Om te voorkomen dat de stilling well zal bevriezen moet ook deze gedeeltelijk met olie worden gevuld. Om te voorkomen dat bij zeer lage waterstand een te grote negatieve druk op de drukopnemer kan komen te staan is binnen de stilling well een tweede buis aangebracht. Uit deze buis kan de olie niet wegstromen zodat een van tevoren ingesteld negatief niveau niet kan worden overschreden. De buis van de stilling well is verder zo met olie gevuld dat bij hoog water of lage klepstand geen water in de aansluiting naar de drukopnemer kan stromen. Aan de andere kant kan bij lage waterstanden geen olie uit het systeem in het open water terechtkomen. Deze manier van vullen is noodzakelijk omdat door het verschil in soortelijk gewicht van olie en water de ingestelde ijkfactor en het ingestelde 0-punt slechts gelden als geen verandering in de totale lengte

van de oliekolom optreedt.

Aan de hand van een rekenvoorbeeld zal worden getoond hoeveel olie in de stilling well moet worden toegevoegd om een zo gunstig mogelijk meetbereikt te krijgen (fig. 9).

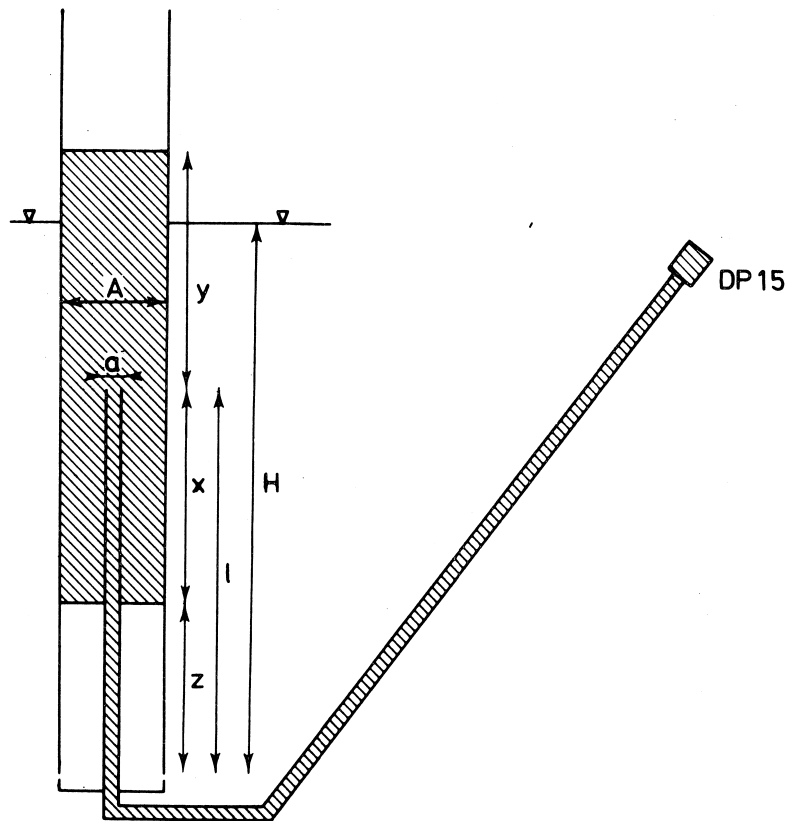


Fig. 9. Een gedeeltelijk met olie gevulde 'stilling well'

Voor een gemiddelde waterstand H geldt:

$$H = (x + y) \gamma + z \quad (8)$$

waarin γ het soortelijk gewicht van de gebruikte olie is. Bij gelijke waarden van een stijging en een daling ten opzichte van H moet de verhouding tussen x en y omgekeerd evenredig zijn met de respectievelijke doorsneden:

$$y = x \frac{A - a}{A} \quad (9)$$

Met een tevoren vastgestelde lengte l van de binnenbuis geldt nu:

$$H = x \left(1 + \frac{A - a}{A} \right) + \ell - x \quad (10)$$

Bij stuw W 14 werden bij een gemiddelde waterhoogte van 155 cm (H) tijdens de installatie de volgende waarden vastgesteld: Het inwendig oppervlak van de als stilling well gebruikte PVC-buis bedroeg $14,52 \text{ cm}^2$ ($= A$). De uitwendige oppervlakte van de perspexbinnenbuis bedroeg $1,31 \text{ cm}^2$ ($= a$) en de lengte van deze buis was vastgesteld op 115 cm ($= \ell$). Het soortelijk gewicht van de te gebruiken olie was $0,865 \text{ g.cm}^{-3}$ ($= \gamma$).

Deze waarden ingevuld in (10) geeft voor x de waarde: $x = 60,37 \text{ cm}$. Uit (9) volgt dan: $y = 55,66 \text{ cm}$. Hieruit volgt dat totaal in dit geval aan olie moet worden toegevoegd: $60,37 \times 13,39 + 55,66 \times 14,52 = 1617 \text{ cm}^3$.

Het vullen met olie dient zodanig te gebeuren dat geen water in de binnenbuis kan stromen en dat geen olie onder uit de stilling well kan vloeien. De stilling well dient daartoe eerst tot ongeveer de helft van de lengte van de binnenbuis in het water te worden geplaatst. Tijdens het vullen wordt de stilling well langzaam op de gewenste diepte gebracht.

Doordat de uiteindelijke uitvoering van het meetsysteem gedeeltelijk tijdens het al in bedrijf zijn van de opstellingen is ontwikkeld was het niet mogelijk alle onderdelen van tevoren aan een test te onderwerpen. Zo zijn bijvoorbeeld de gebruikte printers en de voedingen van Validyne direct in het veld geplaatst. De werking van deze apparatuur heeft echter weinig problemen gegeven. Het instellen van de Gay Printina gaat enigszins moeilijk, daar de tijd klok alleen ingesteld kan worden bij een geopende kast. Zolang de stroom niet uitvalt is dit echter een eenmalige instelling. De printer is zeer gevoelig voor stroomstoten. In de praktijk is namelijk gebleken dat door het inschakelen van de motor voor de klepbeweging de printer buiten de ingestelde printtijd een extra print geeft. Deze uitprinting gebeurt scheef en in spiegelschrift. Deze slordigheid geeft echter wel als extra een informatie over de tijdstippen waarop de stand van de klep is veranderd.

De printer WD3500 heeft het nadeel, dat de werking beneden 0°C niet

is gegarandeerd. Dit probleem is echter op te lossen door de regelkast van de stuw te isoleren en van een verwarmingselement te voorzien. Omdat hier 220 V ter beschikking is levert dit geen moeilijkheden op.

6. IJ KINGEN IN HET VELD

6.1. IJ k i n g b i j d u i k e r s

Nadat de meetopstelling in het veld was geïnstalleerd zijn opnieuw ijkingen uitgevoerd. Deze herijking was noodzakelijk omdat tijdens het transport van de meetopstelling de kans groot is dat er een verloop heeft plaatsgehad.

Bij de meetopstelling bij de duiker werd daartoe de aansluiting van de drukopnemer aan de zijde van de toevoersloot losgemaakt en aangesloten op een drukreservoir (fig. 10). De druk in dit reservoir werd gelijkgesteld aan die van het open water en de 0-stand werd gecontroleerd en zonodig bijgesteld. Door het reservoir nu een bepaald aantal centimeters omhoog of omlaag te bewegen kan bij elke stand de door de drukopnemer afgegeven waarde worden vergeleken met het aangelegde drukverschil. Zonodig kan door regelen van de 'span' een eventuele afwijking worden gecorrigeerd. Een tussentijdse controle is mogelijk door in een stijgbuis (fig. 7) het hoogteverschil met het water in de wijk te meten. Bij een geconstateerde afwijking moet een herijking plaatsvinden daar van tevoren niet is te zeggen of er een verloop van het 0-punt of van de span heeft plaatsgehad.

6.2. IJ k i n g b i j s t u w e n

Bij de stuwen was een ijking in het veld noodzakelijk in verband met het vullen van de stilling wel met olie. Bij een zo nauwkeurig mogelijke instelling van het 0-debiet van de stuw werd bij de dan heersende overdruk van de olie in de stilling wel de aanwijzing van de indicator op 0 gezet. Is dit niet mogelijk dan staan verschillende oplossingen ter beschikking:

- a. een aanpassing van de voeding/demodulator is mogelijk;
- b. aan de tegenoverliggende aansluiting van de drukopnemer kan een tegendruk worden aangebracht;
- c. er kan genoeg worden genomen met een bepaalde waarde van de uitlezing (b.v. 100) die dan bij de andere aflezingen in rekening moet worden gebracht.

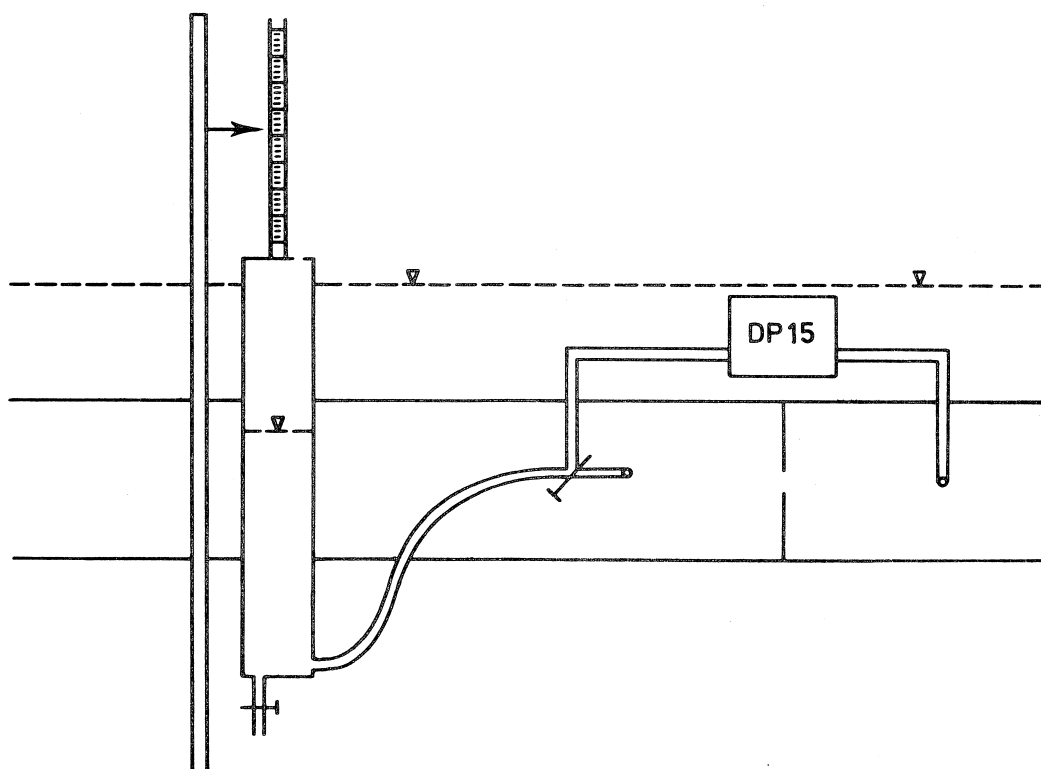


Fig. 10. Het ijken van een drukopnemer in het veld

Door gebruik te maken van olie met een soortelijk gewicht dat niet teveel afwijkt van dat van water, zoals bijvoorbeeld Ondina olie met een soortelijk gewicht van 0,86 kunnen dergelijke moeilijkheden worden voorkomen.

Voor het instellen van de 'span' is een nauwkeurige meting van de overstorthoogte vereist. Door zowel de hoogte van de klep als het peil in een stilling well met behulp van een waterpasinstrument en een baak met millimeterverdeling te meten kan het verschil binnen een nauwkeurigheid van 1 mm worden gemeten. Voor dit doel moet een tweede stilling well worden aangebracht om de overstorthoogte in mm water te kunnen meten. Bij een overstort van bijvoorbeeld 200 mm wordt nu de span op de juiste waarde gezet. Bij grote bijstellingen van de span kan het nodig zijn ook het 0-punt weer te corrigeren. Na enige herhalingen is een juiste instelling bereikt. Ter controle kunnen enkele andere waarden van de overstorthoogte worden gemeten

en worden vergeleken met de waarden van de indicator.

Voor tussentijdse controle is het voldoende de overstorthoogte te meten met hiervoor geschikte methoden en de waarde te vergelijken met die van de indicator. Bijstellen is ook hier niet mogelijk daar bij een afwijking een herijking noodzakelijk is.

Bij gebruikmaking van de Validyne voedingen is in de twee maanden dat de opstelling in gebruik is geen afwijking vastgesteld. De Aktion Pak voeding bleef echter steeds verlopen, daarom is deze voeding bij de stuwen reeds vervangen.

7. BEKNOPT OMSCHRIJVING VAN DE GEBRUIKE APPARATUUR

Drukopnemers

Fabrikaat: Validyne, type DP15

Dit type drukopnemer wordt geleverd met verschillende meetbereiken. Voor de flensmeting is gebruik gemaakt van het bereik $\pm 0,2$ PSI (Pound per square inch) wat overeenkomt met een bereik van + 140 tot - 140 mm waterkolom. Voor de stuwen wordt het model $\pm 0,5$ PSI (± 360 tot - 360 mm) gebruikt. De meetbereiken van deze drukopnemers zijn te veranderen door het monteren van een ander membraan. De elektrische aansluitingen zijn in standaarduitvoering niet waterdicht. Bij de stuwen is deze aansluiting vervangen door een waterdichte connector. Bij de flensmetingen zijn de drukopnemers in een waterdichte kast ingebouwd.

Voedingen

Fabrikaat: Action Pak, type 6051

Deze voedingen zijn uitgevoerd als insteekmoduul. De externe voeding kan naar believen worden gekozen uit 220 V_~ of 24 V=. Het 0-punt, de span (totale bereik) en de wisselspanningsvoeding voor de drukopnemers zijn met een schroevendraaier instelbaar. Daar bij de flensmetingen de afgegeven stroom over een grote afstand moet worden getransporteerd is door de TFDL een extra versterker direct achter deze module gebouwd, die een stroom afgeeft van 0-20 mA.

Fabrikaat: Validyne, type CD15

De schroevendraaierinstellingen zijn hier vervangen door neerslagpotentiometers en het geheel is in een kast ingebouwd. De standaarduitvoering is voorzien van een aansluiting van 220 V_~ en geeft een uitgangsspanning van - 10 tot 10 V=.

Fabrikaat: Validyne, type CD16

Deze voeding is geschikt voor 24 V= aansluiting en is gebouwd in een robuuste stalen kast. De instellingen vinden hier plaats met behulp van een schroevendraaier. De uitgangsspanning is - 5 tot + 5 V=.

Fabrikaat: Validyne, type CD23

Deze voeding is in principe gelijk aan de CD15, maar is uitgebreid met een digitale uitlezing, een BCD uitgang en heeft als extra een rekenmodule om de drukhoogte tot de macht 1,5 te verheffen. Een verzwakker maakt het mogelijk om nu direct het debiet te meten. Het apparaat is omschakelbaar van hoogte- naar debietmetingen. Verzwakker en omschakelaar behoren niet tot de standaarduitvoering van de fabrikant.

Voedingen

Ontwerp en produktie: TFDL

Voor de meetopstelling bij de flensmetingen wordt de netspanning getransformeerd naar 48 V, om daarna over een afstand van 750 m te worden getransporteerd. De aan het einde van de kabel resterende 24 V wordt weer getransformeerd naar 220 V. Na stabilisatie wordt deze spanning gebruikt voor de voeding van de scanner en een integrator. Ten behoeve van de voedingen van de drukopnemers wordt een deel van de gestabiliseerde spanning getransformeerd en daarna gelijk gericht tot 30 V=. Het geheel is samen met de scanner in een waterdichte kast ingebouwd.

Meting en registratie

Fabrikaat: Mess + System Technik GmbH, type Didiscan 10 TH

Deze 10-kanaals scanner is voorzien van een ingebouwde klok voor sturing van de scanner en printer. De meetwaarde is op een display afleesbaar. De meettijd is instelbaar tot maximaal 2 uur. Via een BCD-uitgang wordt het gemeten signaal doorgegeven aan een elektrische printer. Per scan wordt eenmaal de datum en de tijd meegeprint.

Analoog naar Digitaal omvormer

Fabrikaat: Emerson Electric Co., Doric 400A

Deze A/D-omvormer is speciaal geschikt voor het omzetten van de analoge uitgangssignalen van de voedingen van drukopnemers in BCD of ASSCI code voor sturing van een printer. Een display maakt een directe uitlezing mogelijk.

Printer

Fabrikaat: Gay, type Printina CP

Deze printer drukt een aangeboden signaal af op gemetaliseerd papier.

Extern is de printtijd in te stellen tot maximaal 99 min. Voor het gelijkzetten van de klok zijn binnen in de kast een aantal toetsen aangebracht. Dag en tijd worden meegeprint.

Fabrikaat: Wetzter Messtechnik GmbH + Co., Type WD3500

De printer werkt met thermisch papier en is geheel extern te programmeren. Datum en tijd worden op een aparte regel geprint en na elke meting wordt een regel ruimte gelaten. Door het ontbreken van een oprolmechanisme voor het papier geeft dit systeem lange slierten papier. Beneden 0°C wordt de werking niet meer gegarandeerd.

Rekenmodule

Fabrikaat: Action Pak, type 4430

Deze analoge rekenmodule verheft de ingangsspanning tot de macht 1,5 en kan met een externe verzwakker worden gebruikt om overstort-hoogten om te zetten in debieten. Zowel de ingangsspanning als de uitgangsspanning liggen in het bereik van 0-10 V=.

Leveranciers:

Depex, De Bilt : Drukopnemers DP15

Validyne Voedingen CD15, CD16, CD23

Printer WD3500

Simac, Veldhoven: Action Pak Modules 6051 en 4430

Digiscan 10

Doric 400

Printina CP

TFDL, Wageningen: Voeding

Waterdichte kasten

Aanpassingen

Bekabeling

8. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Door de toepassing van drukopnemers voor het meten van verschillendrukken of drukken ten opzichte van de atmosferische druk is het mogelijk bij opstellingen in het veld met grote nauwkeurigheid verschillendrukken over flenzen en overstorthoogten van stuwen te meten. Daar de drukopnemers een elektrisch signaal afgeven wordt in vele gevallen de registratie van de waarnemingen eenvoudiger en leent zich indien gewenst voor verdere automatisering van de verwerking van de meetgegevens.

Na een algemene beschrijving van de verschillende principes van de diverse soorten drukopnemers wordt meer uitgebreid aandacht geschonken aan de inductieve drukopnemer. Voor de toepassing van drukopnemers bij veldmetingen worden een opstelling voor debietmetingen in duikers met een flens en het meten van overstorthoogten bij stuwen beschreven. Laboratoriummetingen laten zien welke nauwkeurigheden van de veldmetingen kunnen worden verwacht.

De praktische opstelling alsmede de ijking in het veld vragen bijzondere aandacht. De bescherming tegen vorst van de drukopnemers door deze te vullen met olie vergt een speciale constructie en plaatsing van de stilling well.

Hoewel de meetopstellingen in de Drentse Veenkoloniën nog te kort in bedrijf zijn om vergelijkingen te kunnen treffen met op traditionele methode verkregen resultaten blijkt tot nog toe dat goede resultaten mogen worden verwacht mits een goede werking van de meetopstellingen is gewaarborgd.

Bij de metingen bij de duikers zijn veel moeilijkheden onderhouden door het verlopen van voeding en/of versterking van de Action Pak modules. Tijdelijke stopzetting van de metingen was soms het gevolg van reparatie of vervanging van onderdelen. Na vervanging van de voedingen wordt in het voorjaar van 1980 gestart met een wekelijkse controle van de metingen, zodat een vergelijking van de registratie en met de hand uitgevoerde metingen mogelijk is.

Bij de opstelling van de drukopnemer op de kruin van de stuwen is niet te ontkomen aan vrij lange aansluitleidingen. Aan de kwaliteit van deze aansluitingen dient de nodige zorg te worden besteed

omdat zelfs de kleinste lekkage een verloop van de instellingen van het 0-punt en de span tot gevolg zal hebben. Luchtdichte leidingen, goede koppelingen en een bescherming tegen beschadiging door drijvend vuil zijn daarom een absoluut vereiste.

Het ligt in de bedoeling om bij twee stuwen waarop drukopnemers zijn gemonteerd Fisher en Porter registratie-apparatuur aan te brengen, zodat voor 1980 een vergelijking van de beide meetmethoden mogelijk is.

De kosten voor de meetopstellingen evenals de benodigde tijd voor het aanbrengen van deze opstelling zijn buiten beschouwing gelaten. De kosten zijn sterk afhankelijk van de gekozen opstelling vooral met betrekking tot de gewenste registratie. Het opstellen zelf is afhankelijk van de bereikbaarheid en van de mogelijkheid om de opstelling vooraf te assembleren.

Als zeer globale indicatie kan wel vermeld worden dat de meet-apparatuur inclusief de registratie voor stuw M22 ca. f 6000,- gekost heeft. (DP15 + CD23 met machtsverheffing + WD 3500). De montage inclusief ijking is door twee man in één dag uitgevoerd. Buizen, noodzakelijk voor bescherming van leidingen waren door het waterschap reeds aangebracht.

LITERATUUR

BOS, M.G. e.a., 1976). Discharge measurement structures.

BELLAND HOWELL. Pressure Transducers Handbook.

ECONOSTO. Meetschijfmetingen. Formules en grafieken voor FOXBORO
drukverschilmeters.

KIWA. Grafiek voor drukverlies bij stroming van water van 10^0 door
hard PVC-buizen volgens KIWA keuringseisen nr 49. Mededeling
nr 14 van het KIWA.

VALIDYNE ENGINEERING CORPORATION. Korte beschrijving van diverse
debietmetingen met behulp van drukopnemers. Rapport AN 9
12/28/78.

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM DELFT, 1979. Debietmetingen met draina-
gebuizen. Verslag onderzoek S 170-V.